

**Avaliação da resposta dinâmica de pés protéticos através do sensor inercial – um estudo de caso**

*Dynamic response assessment prosthetic feet through inertial sensor - a case study*

Paula Regina Giroto<sup>1</sup> e Fabrício Duarte<sup>2</sup>

1. Acadêmica do curso de Fisioterapia do Centro Universitário Univates
2. Fisioterapeuta, Mestre em Ortopedia e Traumatologia, docente do curso de Fisioterapia do Centro Universitário Univates

Estudo desenvolvido na Clínica Nuclea – Saúde e Reabilitação, Porto Alegre – RS, Brasil.

Endereço para correspondência:

Paula Regina Giroto

Rua Travessa Ceará, 63, Santa Clara, Encantado, RS, Brasil

paulinha.giroto@yahoo.com.br

**RESUMO:** A amputação do membro inferior constitui evento traumático físico e emocional para quem o sofre, pois perde-lo acarreta grande repercussão física, tal que a reabilitação é o procedimento para o indivíduo amputado voltar a realizar a marcha mais naturalmente. O estudo almeja verificar a resposta dinâmica dos pés protéticos, durante a marcha, em um indivíduo amputado. Realizou-se a avaliação da marcha de uma voluntária com 36 anos, amputada transtibial, adaptada a prótese e utilizando aparelho sensor inercial, marca Free4act, com a utilização de dois tipos de pés protéticos: pé SACH e pé Dinâmico, ambos da marca OttoBock. A coleta ocorreu em duas etapas: primeiramente, a voluntária realizou caminhada em esteira com os pés selecionados por 5 minutos para familiarização; posterior, caminhou em linha reta por 15 metros com o sensor ligado. Os resultados da velocidade, cadência, comprimento do passo, porcentagem da fase de apoio e balanço foram anotados numa tabela para posterior comparação. O pé SACH aumenta a velocidade e a cadência da marcha, porém quando comparado com o membro inferior não amputado, este apresenta menor comprimento do passo. O pé dinâmico possui melhor resposta comparado ao pé SACH, de modo que se assemelha com o membro inferior não amputado, como também com o pé humano. A avaliação espaço-temporal da marcha, por sensor inercial, demonstrou-se útil, ao passo que gerou dados quantitativos reprodutíveis. Logo, há necessidade de realizar um estudo com amostragem maior e com diferentes níveis de amputações para obter dados mais significativos.

**Palavras-chave:** amputação; pé SACH; pé dinâmico; sensor inercial.

**ABSTRACT:** The amputation of the lower limb is physically and emotionally traumatic event for those who suffer, because it loses it brings great physical impact, such that rehabilitation is the procedure for the amputee to return to perform walking more naturally. The study aims to verify the dynamic response of prosthetic feet during gait in an amputee individual. This was the assessment of gait of a voluntary 36, amputated transtibial adapted the prosthesis and using inertial sensor device, Free4act brand, with the use of two types of prosthetic feet: SACH foot and dynamic foot, both Ottobock brand. The collection took place in two stages: first, voluntary held walk on a treadmill with the feet selected for 5 minutes for familiarization; later, she walked straight for 15 meters with the connected sensor. The results of speed, cadence, stride length, percentage of the stance phase and balance sheet were recorded in a table for comparison. The SACH foot increasing the speed and cadence gait, but not when compared to the lower limb non-amputee, that presents a smaller length step. The dynamic foot has better response compared to SACH foot, so that resembles the non-amputee leg as well as the human foot. Conclusion: The evaluation spatiotemporal gait by the inertial sensor, proved to be useful, while generating reproducible quantitative data. Therefore, there is a need to conduct a study with more patients and with different levels of amputations for more meaningful data.

**Key words:** amputation; SACH foot; dynamic foot; inertial sensor.

## INTRODUÇÃO

Amputação é um procedimento de retirada, geralmente cirúrgica, total ou parcial de um membro, sendo que sua incidência geral aumenta devido principalmente ao aumento da média de vida e aos acidentes de trânsito e de trabalho<sup>1,2</sup>. Estes mesmos autores afirmam que as causas de amputação estão entre as mais variadas, podendo destacar as infecções, tumores, traumas, nervosas e genéticas. As amputações de membros inferiores acabaram sendo realizadas em maior proporção no decorrer dos últimos anos devido ao aumento dos acidentes de trânsito em todo o mundo.

Entre os níveis de amputação, os mais frequentes são os níveis transtibial, que possui um melhor prognóstico para reabilitação e deambulação<sup>1</sup>, desarticulação do joelho, que é mais indicada para idosos<sup>2</sup> e transfemural, que é mais comum ocorrer por questões vasculares, tumorais ou por traumas<sup>1</sup>. Além de outros níveis como interfalangiana, metatarsofalangiana, transmetatarsiana ou de Lisfranc, por exemplo, que são mais comuns em indivíduos com pé diabético<sup>1</sup>.

Para cada nível de amputação, há um tipo de prótese mais indicada. No mercado, atualmente, estão disponíveis as próteses exoesqueléticas, que possibilitam, além da boa sustentação, o revestimento estético. Algumas são produzidas com componentes plásticos, sendo usadas geralmente para prótese de banho e geriátrica<sup>1</sup> e as próteses endoesqueléticas, que, assim como as exoesqueléticas, podem ser utilizadas para todos os níveis de amputação, exceto nas amputações parciais do pé e do tornozelo. O mesmo autor afirma que as próteses endoesqueléticas são consideradas melhores sob o ponto de vista funcional e cosmético<sup>1</sup>.

Assim como existem diferentes tipos de próteses, também existem diferentes tipos de pés protéticos no mercado, como o Pé Sach (Solid Ankle Cushioned Heel), indicado para todos os tipos de próteses, em especial para amputações abaixo do joelho, o Pé Articulado, também indicado para todos os tipos de próteses, em especial para desarticulações de joelho e quadril, o Pé Multiaxial, onde sua articulação permite movimentos em todas as direções e o Pé Dinâmico, indicado para todas as próteses, proporciona passagem mais dinâmica entre a fase estática para a de impulso na marcha<sup>1</sup>.

Segundo Perry<sup>3</sup>, para realizar a reabilitação, o terapeuta deve considerar todo o ciclo da marcha, que é entendido como o primeiro apoio do pé no solo até o próximo contato deste

mesmo pé com o solo novamente. Este ciclo é dividido em duas fases: a fase de apoio, dividida em apoio inicial, médio e final e a fase de balanço, dividida em balanço inicial, médio e final.

O paciente com nível de amputação transtibial é aquele que apresenta marcha mais próximo ao natural, devido a permanência da articulação do joelho<sup>1</sup>.

Os sensores inerciais são dispositivos que registram o movimento do corpo em tempo real através de medidas espaço temporais<sup>4,5</sup>, muito utilizado entre pesquisadores pelo seu potencial de avaliar e quantificar objetivamente a mobilidade e o deslocamento da marcha<sup>6</sup>. O uso de sensores inerciais no estudo da marcha humana tem demonstrado ser útil para comparação de características biomecânicas desta forma, este estudo se justifica pois tem como objetivo verificar as características de dois tipos de pés protéticos em um indivíduo amputado durante a marcha, utilizando um sensor inercial para avaliar a velocidade, cadência, comprimento de passo e porcentagem da fase de apoio e balanço.

## **METODOLOGIA**

Participou deste estudo um indivíduo do sexo feminino com idade de 36 anos, amputada transtibial direita por motivo traumático, há 2 anos e meio, altura de 176cm, calçado número 38, bem adaptada à prótese transtibial.

Após assinatura do Termo de Consentimento Livre Esclarecido para participação da pesquisa, foi realizado exame da prótese por um técnico ortopédico habilitado, bem como um exame fisioterapêutico do voluntário que constou de teste de flexibilidade, teste de força de membros inferiores para certificação de boa adaptação ao aparelho protético. A coleta de dados ocorreu na Clínica Nuclea – Saúde e Reabilitação na cidade de Porto Alegre.

Para realização da coleta de dados, foi realizada a avaliação da marcha utilizando aparelho sensor inercial da marca Free4act com a utilização de dois tipos de pés protéticos, o pé SACH e o pé Dinâmico, ambos de mesmo tamanho e da marca OttoBock. Os pés foram disponibilizados pela clínica sem ônus ou custo para o voluntário.

Neste estudo optou-se por escolher dois tipos de pés mais prescritos pelo SUS, por terem baixo custo e boa durabilidade de uso.

Na primeira etapa da coleta de dados foi colocado o sensor inercial ao nível da segunda vértebra sacral (centro de gravidade) do corpo da voluntária. Esta utilizou o pé tipo SACH proporcional ao tamanho do calçado colocado e alinhado à prótese por um técnico ortopédico

experiente. A voluntária realizou uma caminhada de 5 minutos numa esteira ergométrica numa velocidade confortável de marcha para familiarização do pé protético.

Após este processo, deu-se início a coleta de dados da velocidade, cadência, comprimento do passo, tempo de fase de apoio e balanço através do sensor inercial. A voluntária realizou uma caminhada num espaço em linha reta de 15 metros com o sensor inercial ligado. Após esta etapa, foi iniciado o segundo processo de análise utilizando o pé Dinâmico. Para tal foi realizado o mesmo processo de alinhamento e familiarização utilizado na etapa um. Os dados das duas etapas foram captados através do software Biomech2010 onde foram extraídos os resultados em questão.

Os resultados da velocidade, cadência, comprimento do passo, porcentagem da fase de apoio e balanço foram anotados numa tabela para posterior comparação.

## RESULTADOS

A tabela 1 mostra os resultados da coleta dos dados dos dois pés protéticos (Pé SACH e Pé Dinâmico).

As figuras 1 e 2 representam o gráfico comparativo entre velocidade e cadência do passo dos dois tipos de pés protéticos, respectivamente.

A figura 3 representa os valores referentes à porcentagem do comprimento de passo direito e esquerdo comparando os dois tipos de pés protéticos.

A figura 4 representa a porcentagem da fase de apoio e balanço dos dois tipos de pés protéticos.

Tabela 1: Resultados obtidos na coleta de dados.

<b>Itens avaliados</b>	<b>Pé SACH</b>	<b>Pé Dinâmico</b>
<b>Velocidade</b>	66,7 m/min	61,2 m/min
<b>Cadência</b>	57,5 passos/min	55,1 passos/min
<b>Comprimento de passo D</b>	45,9%	49,3%
<b>Comprimento de passo E</b>	54,1%	50,7%
<b>Fase de apoio D</b>	63,0%	63,8%
<b>Fase de apoio E</b>	61,3%	62,0%

<b>Fase de balanço D</b>	35,2%	34,3%
<b>Fase de balanço E</b>	36,4%	36,0%

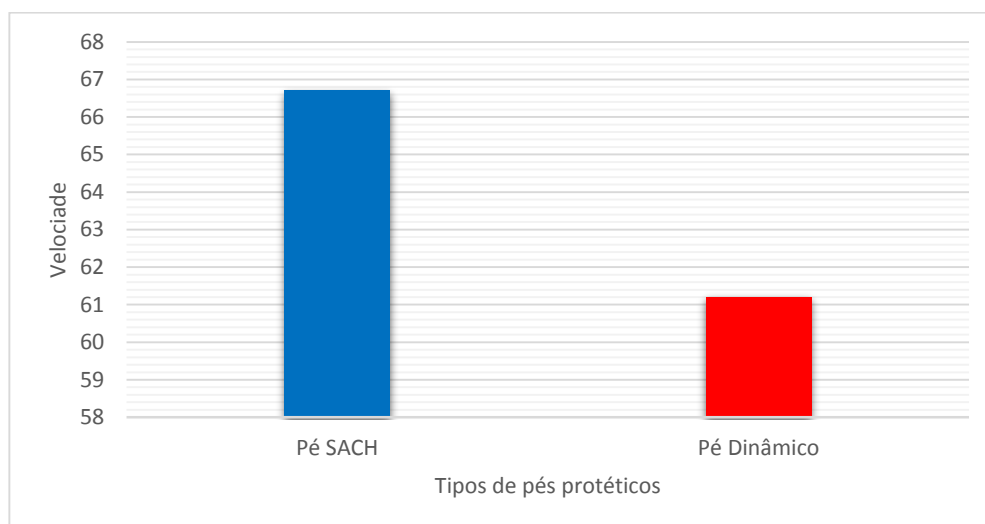


Figura 1: Gráfico comparativo entre as velocidades dos pés protéticos.

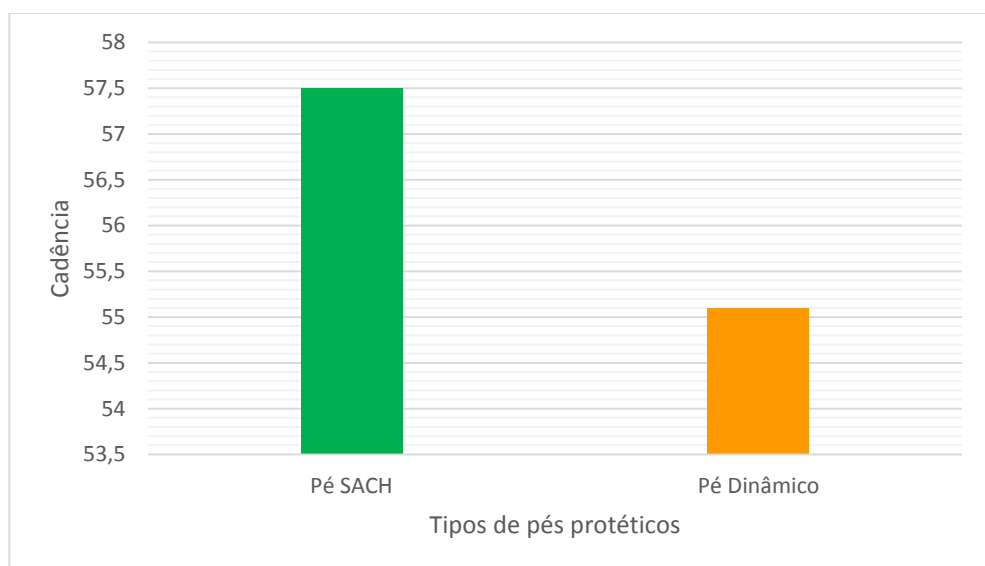


Figura 2: Gráfico comparativo entre a cadência dos pés protéticos.

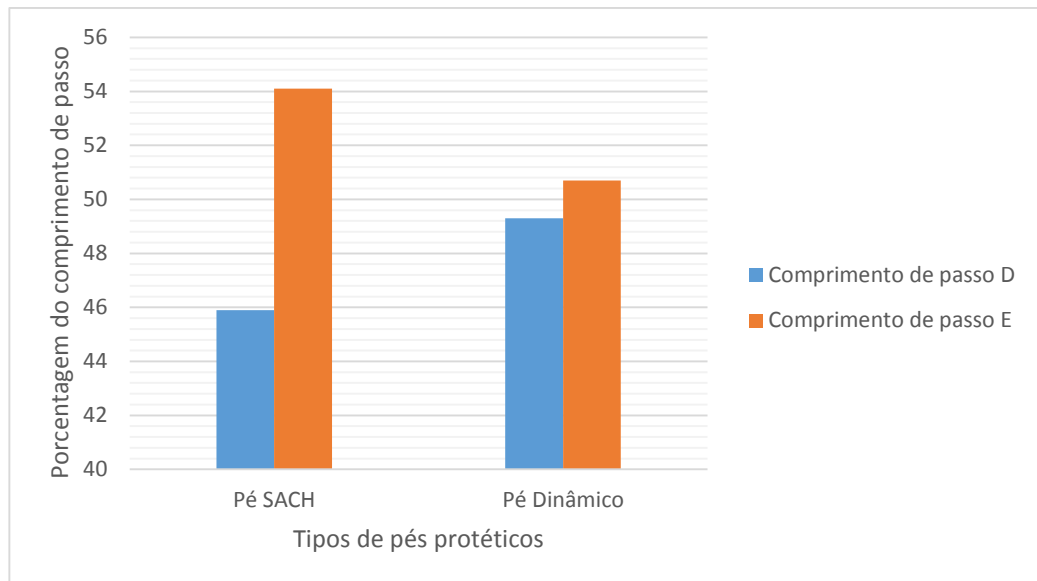


Figura 3: Gráfico comparativo entre a porcentagem do comprimento de passo D/E.

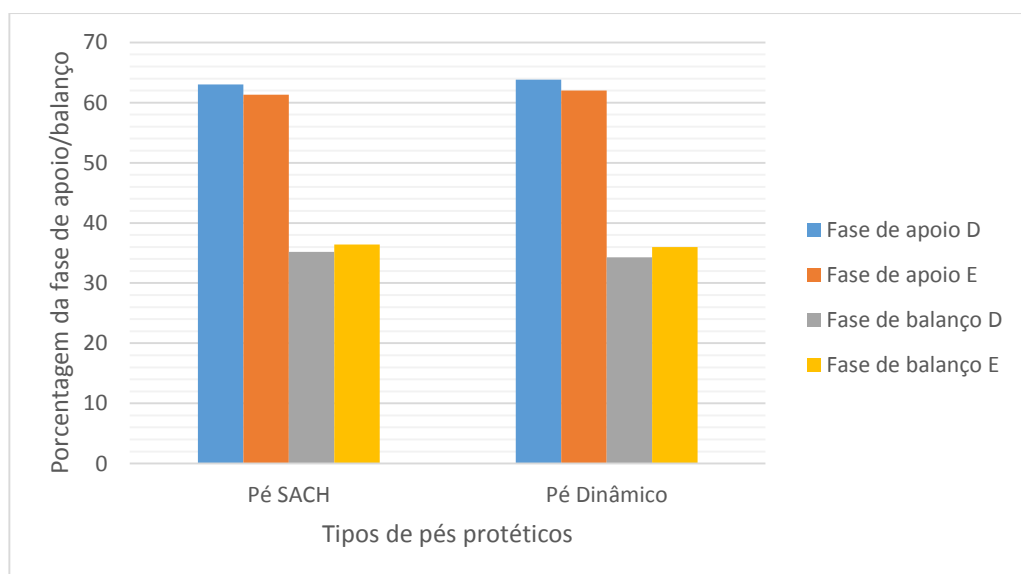


Figura 4: Gráfico comparativo entre a porcentagem da fase de apoio e balanço.

## DISCUSSÃO

A amputação de membros inferiores causa repercussão física, mental e social, gerando uma necessidade de plena recuperação, principalmente em indivíduos socialmente ativos<sup>7</sup>. Carvalho<sup>1</sup> cita que o processo final de recuperação do paciente amputado se dá através de uma marcha independente com próteses bem indicadas e adaptadas.

A escolha deste estudo de caso se deu devido ao perfil do nível de amputação, bem como a idade da voluntária, 36 anos, vítima de amputação transtibial em terço médio de tíbia direita por etiologia pós-traumática. Para Reis<sup>8</sup>, as amputações transtibiais são as mais frequentes na população ativa, contando com 37,6% de todas as amputações em adultos jovens.

A escolha do equipamento protético é de fundamental importância na contribuição de uma marcha independente e segura, principalmente os tipos de pés protéticos no caso das amputações transtibiais. Para Fridman<sup>9</sup>, os pés protéticos desempenham funções biomecânicas semelhantes aos pés humanos, tais como absorção e transmissão de energia. Para Carvalho<sup>1</sup>, ocorre uma dificuldade por profissionais da saúde ao prescrever tipo de material/equipamento protético, e isto pode estar relacionado ao conhecimento técnico dos materiais.

Para Laferrier e Gailey<sup>10</sup>, o pé SACH ainda é mais utilizado por amputados, pois o calcanhar é composto por um material flexível e com densidades diferentes, considerado muito bom na absorção do impacto inicial da marcha e por simular uma flexão plantar na resposta de carga.

O sensor inercial é um equipamento que está sendo utilizado para descrição de impacto e da marcha nas análises biomecânicas<sup>11</sup>. Vários são os autores que tem utilizado o sensor inercial para aferição de medidas espaço temporais da marcha, como Auvinet<sup>12</sup> que procuram identificar a relação entre o ângulo do pé e outros parâmetros da marcha e em idosos e indivíduos saudáveis; Lau e Tong<sup>13</sup> utilizaram o sensor inercial para descrever a identificação de eventos da marcha e avaliaram a confiabilidade de um sistema em dez indivíduos com pé equino e Lee<sup>14</sup> que utilizaram acelerômetros de três eixos para detectar automaticamente passos em várias velocidades de marcha.

Neste estudo, foram coletadas as medidas de velocidade da marcha, cadência do passo, comprimento do passo, porcentagem do tempo da fase de apoio e de balanço de ambas as pernas. Estes dados foram os mesmos utilizados por Rodrigues<sup>15</sup> que avaliaram a influência do alinhamento do pé protético no plano sagital sobre o componente vertical da força de reação do solo durante a marcha de amputados transtibiais.

Como resultado deste estudo, foi observado que a velocidade da marcha aumentou quando utilizado o pé SACH (66,7m/min) em relação ao pé dinâmico (61,2m/min). Pode-se



observar ainda aumento do número de passos por minuto (cadência) no pé SACH (57,5 passos/min) em comparação com o pé dinâmico (55,1 passos/min). Estes resultados podem ser explicados quando nos recorremos a Henriksson e Hirschfeld<sup>16</sup> e Lee<sup>14</sup> que citam que quanto maior a velocidade imprimida durante a marcha maior a quantidade de passos por minuto.

Para Rose e Gamble<sup>17</sup> e Lusardi e Nielson<sup>18</sup> o pé SACH é um tipo de pé que atua com boa capacidade de absorção durante o contato inicial e devido a sua construção composta de material flexível, favorece uma flexão planta mais ativa durante a resposta de carga.

Em relação às medidas de comprimento de passo, foi observado como resultado deste trabalho que o pé SACH apresentou um comprimento menor (45,9%) em relação ao pé esquerdo (54,1%). Este resultado pode ser facilmente explicado quando nos recorremos à Czerniecki<sup>19</sup>, Bateni e Olney<sup>20</sup> e Soares<sup>21</sup> que citam que uma das causas de alteração no comprimento de passo pode ser a instabilidade do apoio com o membro inferior protetizado ocorrido pela pouca mobilidade do pé SACH em comparação com o pé não amputado. Pode-se observar ainda que esta diferença não foi tão importante quando comparado o pé dinâmico (49,3%) em relação ao membro não amputado (esquerdo) (50,7%).

Em relação à porcentagem de tempo de apoio durante a marcha, obteve-se como resultado que o pé SACH apresentou maior tempo de apoio (63,0%) em relação ao membro inferior não amputado (esquerdo) (61,3%). O pé dinâmico apresentou simetria entre os lados amputado (direito) (63,8%) e não amputado (esquerdo) (62,0%). Ambos os pés protéticos apresentaram dados semelhantes durante a fase de apoio da marcha. Estes resultados são explicados quando nos recorremos a Sagawa<sup>22</sup> e Ferreira<sup>23</sup> que citam que o aumento no período de apoio do membro amputado em relação ao lado contralateral podem acontecer devido a diminuição da estabilidade e equilíbrio nesta população durante a marcha.

Em relação à porcentagem de tempo da fase de balanço da marcha, pode-se observar semelhanças entre os resultados o pé SACH (35,2%) comparado com o membro não amputado (36,4%). Já com o pé dinâmico, verificou-se tempo de fase de balanço menor (34,3%) em relação ao membro não amputado (36,0%). Comparando-se os dois pés protéticos pode-se observar menor tempo da fase de balanço no pé dinâmico em relação ao pé SACH. Segundo Lusardi e Nielson<sup>18</sup>, Wilken e Marin<sup>24</sup> e Sagawa<sup>22</sup> o pé dinâmico possui uma capacidade de transferência da fase de contato final mais rápida que o pé SACH, favorecendo maior velocidade e dinamismo durante a fase de balanço da marcha.

No presente estudo foram utilizados dados espaço temporais através do sensor inercial para averiguar possíveis discrepâncias entre os pés protéticos. Esta ferramenta demonstrou ser útil e de fácil aplicação para detecção das medidas em questão. Esta foi a mesma impressão obtida por Oliveira<sup>25</sup> que utilizaram o mesmo equipamento para avaliar a quantidade de impacto durante a marcha de um sujeito amputado bilateral transtibial.

## **CONCLUSÃO**

Conclui-se neste estudo que o pé SACH aumenta velocidade e cadência de marcha, porém quando comparado com o membro inferior não amputado, ele apresenta menor comprimento de passo.

O pé dinâmico, observando seus resultados, assemelha-se ao membro inferior não amputado, sendo considerado também semelhante ao pé humano, e em relação a fase de balanço da marcha, este possui melhor resposta dinâmica em comparação com o pé SACH.

A avaliação das medidas espaço temporais da marcha através do sensor inercial demonstrou ser útil e de fácil manuseio, gerando dados quantitativos reproduzíveis.

Por isso, há necessidade da realização de um trabalho com uma amostragem maior e com diferentes níveis de amputações para dados mais significativos.

## REFERÊNCIAS

1. CARVALHO, J.A. **Amputações de membros inferiores: Em busca da plena reabilitação.** São Paulo: Manole, 2003
2. GABRIEL, M<sup>a</sup>.R.S.; PETIT, J.D.; CARRIL, M<sup>a</sup>.L.de S. **Fisioterapia em traumatologia, ortopedia e reumatologia.** Rio de Janeiro: Revinter, 2001
3. PERRY, J. **The mechanics of walking in hemiplegia.** Clin. Orthop. & Rel. Res. v.63, p.31-32, 1992
4. PITTA F, TROOSTERS T, PROBST VS, SPRUIT, MA, DECRAMER M, GOSSELINK R. **Quantifying physical activity in daily life with questionnaires and motion sensors in COPD.** Eur Respir J. 2006;27(5):1040-55
5. AMORIM PRS, GOMES TNP. **Gasto energético na atividade física: pressupostos, técnicas de medida e aplicabilidade.** Rio de Janeiro: Shape; 2003
6. TUDOR-LOCKE C, WILLIAMS JE, REIS JP, PLUTO D. **Utility of Pedometers for assessing Construct Validity.** Sports Med. 2004;34(5):281-91
7. BOCCOLINI, F. **Reabilitação amputados, amputações, próteses.** São Paulo: Robe Editorial, 2000
8. REIS G, JÚNIOR AJC, CAMPOS RS. **Perfil epidemiológico de amputados de membros superiores e inferiores atendidos em um centro de referência.** Revista Eletrônica Saúde e Ciência, v. 02, 2012; ISSN 2238-4111
9. FRIDMAN A, ONA I, ISAKOV E. **The influence of prosthetic foot alignment on trans-tibial amputee gait.** Prosthet Orthot Int 2003;27(1):17-22
10. LAFERRIER, J. Z.; GAILEY, R. **Advances in Lower-limb Prosthetic Technology.** Phys Med Rehabil Clin N Am, v. 21, p. 87-110, 2010
11. CHEN K, BASSETT DJ. **The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future.** Med Sci Sports Exerc 2005; 37 (11 suppl): S490–S500
12. AUVINET B, BERRUT G, TOUZARD C, MOUTEL L, COLLET N, CHALEIL D, BARREY E. **Reference data for normal subjects obtained with an accelerometric device.** Gait & Posture, 2002; 16:124-134
13. LAU H, TONG K. **The reliability of using accelerometer and gyroscope for gait event identification an persons with dropped foot.** Gait & Posture, 2008; 27:248-257
14. LEE LW, ZAVAREI K, EVANS J, LALAS JJ, RILEY PO, KERRIGAN C. **Reduced hip extension in the elderly: dynamic or postural?** Arch Phys Med Rehabil 2005; 86:1851-1854

15. RODRIGUES DE, VIGANÓ AG, FAGUNDES FRC, MATOS AP, SOARES RJ, HIRATA T, SOARES ASOC. **Análise da Influência do Alinhamento do Pé Protético na Marcha de Amputados Transtibiais.** UNOPAR Cient Ciênc Biol Saúde 2011;13(3):175-80
16. HENRIKSSON M, HIRSCHFLED H. **Physically active older adults display alterations in gait initiation.** Gait Posture 2005; 21:289-296
17. ROSE, J.; GAMBLE, J. G. **Marcha Humana.** Editorial Premier, 1998
18. LUSARDI, M. M.; NIELSEN, C. C. **Orthotics and Prosthetics in Rehabilitation.** Saunders Elsevier, 2007
19. CZERNIECKI, J. M. **Rehabilitation in Limb Deficiency.** 1. Gait and Motion Analysis. Arch Phys Med Rehabil, v. 77, p. S3 - S8, 1996
20. BATENI, H.; OLNEY, S. J. **Kinematic and Kinetic Variations of Below-Knee Amputee Gait.** JPO Journal of Prosthetics and Orthotics, v. 14, n. 1, p. 2-10, 2002.
21. SOARES, A. S. O. D. C.; YAMAGUTI, E. Y.; MOCHIZUKI, L.; AMADIO, A. C.; SERRÃO, J. C. **Biomechanical parameters of gait among transtibial amputees: a review.** Sao Paulo Med J., v. 127 (5), p. 302 - 9, 2009.
22. SAGAWA, Y.; TURCOT, K.; ARMAND, S.; THEVENON, A.; VUILLERME, N.; WATELAIN, E. **Biomechanics and physiological parameters during gait in lower-limb amputees: a systematic review.** Gait & Posture, v. 33, n. 4, p. 511, 2011
23. FERREIRA, A. E. K.; NEVES, E. B.; MELANDA, A. G.; PAULETO, A. C.; IUCKSCH, D. D.; KNAUT, L. A. M. et al. **Transtibial Amputee Gait: Kinematics and Temporal-Spatial Analysis.** In: ROMERO, L. M. R., XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2013, 2013, Seville, Spain. © Springer International Publishing Switzerland 2014. p.61- 64
24. WILKEN, J. M.; MARIN, R. **Gait Analysis and Training of people with limb loss.** In: PASQUINA, P. F. (Ed.). Care of the Combat Amputee - Textbooks of military medicine: Defense Dept., Army, Walter Reed Army Medical Center, Borden Institute, 2009. cap. 19, p.535-552.
25. OLIVEIRA TP, DA LUZ SCT, SZÜCS AP, ANDRADE MC, ÁVILA AOV, TONON JJ, DE LA ROSA FJB. **Análise do impacto mecânico nas próteses de um sujeito bi amputado durante a marcha.** Fisioter Pesq. 2011;18(1): 11-6